

Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/000420

International filing date: 14 January 2005 (14.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP
Number: 2004-042170
Filing date: 18 February 2004 (18.02.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 10 March 2005 (10.03.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

19.01.2005

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 4 年 2 月 1 8 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 4 - 0 4 2 1 7 0
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 4 - 0 4 2 1 7 0]

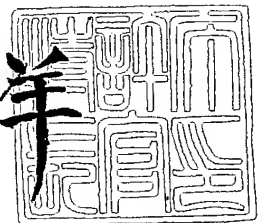
出 願 人 学 校 法 人 早 稲 田 大 学
Applicant(s):

2 0 0 5 年 2 月 2 5 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

小 川

洋



【書類名】 特許願
【整理番号】 PKHD04042
【提出日】 平成16年 2月18日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 C01G 15/00
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工学部物質開発工
 学科内
 【氏名】 一ノ瀬 昇
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都新宿区西早稲田 2-8-26 早稲田大学各務記念材料技
 術研究所内
 【氏名】 島村 清史
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都練馬区向山 2丁目 6番 8号 株式会社光波内
 【氏名】 青木 和夫
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都練馬区向山 2丁目 6番 8号 株式会社光波内
 【氏名】 ガルシア ビジョラ エンカルナシオン アントニア
【特許出願人】
 【識別番号】 899000068
 【氏名又は名称】 学校法人 早稲田大学
【代理人】
 【識別番号】 100071526
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 平田 忠雄
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 038070
 【納付金額】 21,000円
【提出物件の目録】
 【物件名】 特許請求の範囲 1
 【物件名】 明細書 1
 【物件名】 図面 1
 【物件名】 要約書 1

【書類名】特許請求の範囲

【請求項 1】

Ga₂O₃ 系単結晶に所定のドーパントを添加することにより所望の抵抗率を得ることを特徴とする Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 2】

前記所定のドーパントは、前記 Ga₂O₃ 系単結晶を低抵抗化させる IV 族元素であることを特徴とする請求項 1 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 3】

前記 IV 族元素は、Si、Hf、Ge、Sn、Ti または Zr であることを特徴とする請求項 2 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 4】

所定量の前記 IV 族元素を添加することにより、前記所望の抵抗率として $2.0 \times 10^{-3} \sim 8.0 \times 10^2 \Omega \text{cm}$ の値を得ることを特徴とする請求項 2 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 5】

前記 Ga₂O₃ 系単結晶は、そのキャリア濃度が、前記所望の抵抗率の範囲において、 $5.5 \times 10^{15} \sim 2.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に制御されることを特徴とする請求項 4 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 6】

前記所定のドーパントは、前記 Ga₂O₃ 系単結晶を高抵抗化させる II 族元素であることを特徴とする請求項 1 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 7】

前記 II 族元素は、Mg、Be または Zn であることを特徴とする請求項 6 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【請求項 8】

所定量の前記 II 族元素を添加することにより、前記所望の抵抗率として $1.0 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 以上を得ることを特徴とする請求項 6 記載の Ga₂O₃ 系単結晶の導電率制御方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、 Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法に関し、特に、 Ga_2O_3 系単結晶の導電性制御を効率よく行うことができる Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法に関する。

【背景技術】

【0002】

紫外領域での発光素子は、水銀フリーの蛍光灯の実現、クリーンな環境を提供する光触媒、より高密度記録を実現する新世代DVD等で特に大きな期待がもたれている。このような背景から、 GaN 系青色発光素子が実現されている（例えば、特許文献1参照。）。

【0003】

特許文献1には、サファイア基板と、サファイア基板上に形成されたバッファ層と、バッファ層上に形成された n 型窒化ガリウム系化合物半導体層の n 型クラッド層と、ノンドープ活性層と、 p 型窒化ガリウム系化合物半導体層の p 型クラッド層と、高キャリア濃度の p 型コンタクト層とを備える発光素子が記載されている。この従来の GaN 系青色発光素子は、発光波長 370 nm で発光する。

【0004】

【特許文献1】 特許第 2778405 号公報（図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかし、従来の GaN 系青色発光素子では、バンドギャップの関係でさらに短波長の紫外領域で発光する発光素子を得るのが困難である。

【0006】

そこで、近年、バンドギャップがより大きく、紫外領域で発光する可能性がある物質として $\beta-Ga_2O_3$ が期待されている。 $\beta-Ga_2O_3$ バルク単結晶は、FZ（Floating Zone）法により得られており、ウエーハ加工することにより、半導体として利用することができる。FZ法により得られた $\beta-Ga_2O_3$ バルク単結晶は n 型導電性を示す。

【0007】

ところで、 Ga_2O_3 系単結晶を基板あるいは薄膜として使用する場合、導電性を必要とする場合には抵抗率を制御する必要があるが、従来は意図的に不純物をドーピングしなくても Ga_2O_3 系単結晶の基板あるいは薄膜は、 n 型導電性を示すので、広範に渡る抵抗率の制御が困難であった。

【0008】

一方、高絶縁性を必要とする場合もあるが、従来は高絶縁性の Ga_2O_3 系単結晶の基板あるいは薄膜を作ることは困難であった。酸素欠陥濃度を減少させ、絶縁性を上げるために、例えば、空气中で温度 900℃ で6日間のアニールを必要とした。

【0009】

従って、本発明の目的は、 Ga_2O_3 系単結晶の導電性制御を効率よく行うことができる Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法を提供することにある。

【0010】

さらに、本発明の目的は、高絶縁性の Ga_2O_3 系単結晶を作製することができる Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、上記目的を達成するため、 Ga_2O_3 系単結晶に所定のドーパントを添加することにより所望の抵抗率を得ることを特徴とする Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法を提供する。

【0012】

前記所定のドーパントは、前記 Ga_2O_3 系単結晶を低抵抗化させるIV族元素であることが好ましい。

【0013】

前記IV族元素は、Si、Hf、Ge、Sn、TiまたはZrであることが好ましい。

【0014】

所定量の前記IV族元素を添加することにより、前記所望の抵抗率として $2.0 \times 10^{-3} \sim 8.0 \times 10^2 \Omega \text{cm}$ の値を得ることが好ましい。

【0015】

前記 Ga_2O_3 系単結晶は、そのキャリア濃度が、前記所望の抵抗率の範囲において、 $5.5 \times 10^{15} \sim 2.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に制御されることが好ましい。

【0016】

前記所定のドーパントは、前記 Ga_2O_3 系単結晶を高抵抗化させるII族元素であることが好ましい。

【0017】

前記II族元素は、Mg、BeまたはZnであることが好ましい。

【0018】

所定量の前記II族元素を添加することにより、前記所望の抵抗率として $1.0 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 以上を得ることが好ましい。

【発明の効果】

【0019】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、 Ga_2O_3 系単結晶からなる基板あるいは薄膜を成長させる過程において不純物として含まれているSiによってn型導電性が付与されていることを見出したので、Siを除去することによって、 Ga_2O_3 系単結晶を高純度化し、ドーパントの添加濃度に応じて抵抗率を可変することが可能となった。

【0020】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、ドーパントとしてIV族元素であるSi、Hf、Ge、Sn、TiまたはZrを用いることとしたため、Gaと置換することによりn型導電性を示す基板または薄膜を形成することができる。

【0021】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、所望の抵抗率として $2.0 \times 10^{-3} \sim 8.0 \times 10^2 \Omega \text{cm}$ である低抵抗の基板または薄膜を製作することができるため、種々の発光素子の基板または薄膜として使用することができる。

【0022】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、 Ga_2O_3 系単結晶のキャリア濃度を $5.5 \times 10^{15} \sim 2.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ に制御することができるため、所望のキャリア濃度に設定することができるので、発光素子の電気的特性を均一化することができる。

【0023】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、ドーパントとしてII族元素であるMg、BeまたはZnを使用することとしたため、容易に絶縁性とすることができ、絶縁性が要求される用途に用いることができる。

【0024】

本発明の Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法によれば、II族元素を添加することにより、所望の抵抗率として $1.0 \times 10^3 \Omega \text{cm}$ 以上の高抵抗率の Ga_2O_3 系単結晶基板を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

図1は、本発明の第1の実施の形態に係る発光素子を示す。この発光素子1は、 $\beta\text{-Ga}$

$\alpha\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶からなる n 型導電性を示す n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板 50 に、n 型導電性を示す n 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 51、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ からなる活性層 52、p 型導電性を示す p 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 53、および $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶からなる p 型導電性を示す p 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ コンタクト層 54 を順次積層したものである。

【0026】

また、この発光素子 1 は、この p 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ コンタクト層 54 の上面に形成される透明電極 4 と、透明電極 4 の上面の一部に形成されるパッド電極 6 と、n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板 50 の下面の全面に形成される n 側電極 37 とを備える。パッド電極 6 は、例えば Pt から形成され、パッド電極 6 にワイヤ 8 が接合部 9 を介して接合されており、n 側電極 37 は、例えば、Au から形成される。

【0027】

この発光素子 1 は、接着剤 81 あるいは金属ペーストを介してプリント基板 80 に搭載されて図示しないプリン配線に接続される。

【0028】

ここで、p 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 53 のキャリア濃度より p 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ コンタクト層 54 のキャリア濃度を高く形成する。また、同様に、n 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 51 のキャリア濃度より n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板 50 のキャリア濃度を高く形成する。

【0029】

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 活性層 52 は、n 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 51 および p 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層 53 によりサンドイッチ状に挟まれたダブルヘテロ接合とされており、活性層 52 は、各クラッド層 51、53 のバンドギャップよりも小さなバンドギャップを有する $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ により形成する。

【0030】

以下、この実施の形態について説明する。

(1) n 型導電性を示す $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板の製作および導電率制御

基板が n 型導電性を示すためには、基板中の Ga が n 型ドーパントと置換される必要がある。Ga が n 型ドーパントと置換されるガリウム置換型 n 型ドーパントとして、Si、Hf、Ge、Sn、Ti および Zr が挙げられる。

【0031】

n 型導電性を示す基板は、以下のように製作する。まず、FZ 法により $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶を形成する。すなわち、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶と n 型ドーパントである Hf や Si 等を含む $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材とを別個に準備し、石英管中で $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶と $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材とを接触させてその部位を加熱し、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶と $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材との接触部分で両者を溶融する。溶解した $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材を $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶とともに結晶化させると、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶上に n 型ドーパントである Hf や Si を含む $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶が生成される。次に、この $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶に切断等の加工を施すことにより、導電率が制御された n 型導電性を示す基板が得られる。ここで、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材は、不純物としての Si 濃度の低いもの、例えば、6N のものを用いる。

【0032】

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ からなる n 型導電性を示す基板の導電率を制御する方法には、FZ 法により Hf、Si 等を含む n 型ドーパント濃度を制御する方法が挙げられる。

【0033】

(2) n 型導電性を示す薄膜の製作および導電率制御

n 型導電性を示す薄膜は、PLD (Pulsed Laser Deposition) 法、MBE (Molecular Beam Epitaxy) 法、MOCVD (Metal Organic Vapor Deposition) 法、スパッタ法等の物理的気相成長法、熱 CVD (Chemical Vapor Deposition)、プラズマ CVD 等の化学的気相成長法等により形成することができる。

【0034】

PLD法による成膜を説明する。n型導電性を示すためには、薄膜中のGaが少なくともn型ドーパントと置換される必要がある。Gaがn型ドーパントと置換されるガリウム置換型n型ドーパントとして、Si、Hf、Ge、Sn、TiおよびZrが挙げられる。

【0035】

PLD法において、ガリウム置換型n型ドーパントをドーブする方法には、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ とn型ドーパントの酸化物との焼結体よりなるターゲット、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ とn型ドーパントの酸化物の固溶体単結晶よりなるターゲットを用いる方法がある。

【0036】

$\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ からなるn型導電性を示す薄膜の導電率をPLD法において制御する方法では、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ とn型ドーパント酸化物の成分比を変える方法がある。

【0037】

図2は、n型ドーパントとしてSiを使用したときのドーパント濃度とキャリア濃度および抵抗率との関係を示す。Si濃度を例えば、 $1 \times 10^{-5} \sim 1 \text{ mol} \%$ に変化させることにより、抵抗率が $2.0 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^2 \Omega \text{ cm}$ 、キャリア濃度が $5.5 \times 10^{15} \sim 2.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲の値となる。このことから、ドーパント濃度を制御することにより、抵抗率およびキャリア濃度を変えることができる。なお、 5.5×10^{15} という低キャリア濃度が得られたのは、6Nという高純度の $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材を使用したこと、およびいわゆるクリーンルーム内にFZ法またはPLD法を行う装置を設置し、また、必要なガス、器具等も清浄なものを使用したこと等によるものである。

【0038】

上述したn型ドーパントの中で、Hf、SiおよびSnが特に良好な制御性を示すことを確認した。

【0039】

(3) p型導電性を示す薄膜の製造方法

p型導電性を示す薄膜は、PLD法、MBE法、MOCVD法等の物理的気相成長法、熱CVD、プラズマCVD等の化学的気相成長法等により成膜することができる。

【0040】

PLD法による成膜を説明する。p型導電性を示すためには、薄膜中のGaがp型ドーパントと置換されるか、薄膜中の酸素がp型ドーパントと置換されるか、Ga欠陥によるなければならない。

Gaがp型ドーパントと置換されるガリウム置換型p型ドーパントとして、H、Li、Na、K、Rb、Cs、Fr、Be、Mg、Ca、Sr、Ba、Ra、Mn、Fe、Co、Ni、Pd、Cu、Ag、Au、Zn、Cd、Hg、Tl、Pb等が挙げられる。酸素がp型ドーパントと置換される酸素置換型p型ドーパントとして、P等が挙げられる。

【0041】

PLD法によりガリウム置換型p型ドーパントをドーブする方法および酸素置換型p型ドーパントをドーブする方法は、薄膜成長工程でp型ドーパントをドーブする方法である。p型ドーパントをドーブする方法には、下記の方法がある。すなわち、Gaとp型ドーパントの合金からなるターゲット、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ とp型ドーパントの酸化物との焼結体からなるターゲット、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ とp型ドーパントの酸化物との固溶体単結晶からなるターゲット、またはGa金属からなるターゲットおよびp型ドーパントからなるターゲットを用いる方法等がある。

【0042】

また、Ga欠陥によりP型導電性を示す薄膜は、ターゲットとしてGa金属、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 焼結体、あるいは $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 結晶（単結晶、多結晶）を用い、プラズマガンによりラジカルにされた N_2O の雰囲気中で成膜することにより作製できる。

【0043】

(5) 電極

電極は、オーミック接触が得られる材料で形成される。例えば、 n 型導電性を示す薄膜あるいは基板には、Au、Al、Ti、Sn、Ge、In、Ni、Co、Pt、W、Mo、Cr、Cu、Pb等の金属単体、これらのうち少なくとも2種の合金（例えば、Au-Ge合金）、これらを2層構造に形成するもの（例えば、Al/Ti、Au/Ni、Au/Ge合金）、あるいはITOを用いる。 p 型導電性を示す薄膜あるいは基板には、Au、Al、Be、Ni、Pt、In、Sn、Cr、Ti、Zn等の金属単体、これらのうち少なくとも2種の合金（例えば、Au-Zn合金、Au-Be合金）、これらを2層構造に形成するもの（例えば、Ni/Au）あるいはITOを用いる。

【0044】

本発明の第1の実施の形態に係る発光素子によれば、下記の効果を奏する。

(イ) ドーパント濃度を制御することにより、抵抗率およびキャリア濃度を変えることができるため、所望のキャリア濃度を有する薄膜や基板を製作することができる。

(ロ) 発光素子1の基板抵抗が小さくなり、順方向電圧 V_f が小さくなる。

(ハ) n 型 β -Ga₂O₃基板50は、導電性を有するため、基板の上下から電極を取り出す垂直型の構造をとることができるので、層構成、製造工程の簡素化を図ることができる。

(ニ) 発光光は、透明電極4を透過して上方に出射する出射光70として外部に射出する他、 n 型 β -Ga₂O₃基板50の下面の方に向う発光光71は、例えば、 n 側電極37あるいは接着剤81により反射させられて上方に出射するため、出射光70のみを出射するものと比べて、発光強度が増大する。

【0045】

図3は、本発明の第2の実施の形態に係る発光素子を示す。この発光素子1は、 β -Ga₂O₃単結晶からなる絶縁型 β -Ga₂O₃基板55に、 β -Ga₂O₃単結晶からなる n 型導電性を示す n 型 β -Ga₂O₃コンタクト層56、 n 型 β -AlGaO₃クラッド層51、 β -Ga₂O₃からなる活性層52、 p 型導電性を示す p 型 β -AlGaO₃クラッド層53、および β -Ga₂O₃単結晶からなる p 型導電性を示す p 型 β -Ga₂O₃コンタクト層54を順次積層したものである。

【0046】

また、この発光素子1は、 p 型 β -Ga₂O₃コンタクト層54に形成される透明電極4と、透明電極4の一部に形成されるパッド電極6と、 n 型 β -Ga₂O₃コンタクト層56の上に形成される n 側電極37とを備える。パッド電極6は、例えば、Ptから形成され、ワイヤ8が接合部9によって接続され、 n 側電極37は、例えば、Auから形成され、ワイヤ58が接合部59によって接続される。

【0047】

この発光素子1は、接着剤81あるいは金属ペーストを介してプリント基板80に搭載され、プリント基板80法のプリント配線に接続される。

【0048】

ここで、 p 型 β -AlGaO₃クラッド層53のキャリア濃度より p 型 β -Ga₂O₃コンタクト層54のキャリア濃度を高く形成し、 n 型 β -AlGaO₃クラッド層51のキャリア濃度より n 型 β -Ga₂O₃コンタクト層56のキャリア濃度を高く形成する。

【0049】

β -Ga₂O₃活性層52は、 n 型 β -AlGaO₃クラッド層51および p 型 β -AlGaO₃クラッド層53によりサンドイッチ状に挟まれたダブルヘテロ接合とされており、各クラッド層51、53のバンドギャップよりも小さなバンドギャップを有する β -Ga₂O₃で形成される。

【0050】

(6) 絶縁型基板の製造方法

絶縁型基板は、以下のように製作する。まず、 n 型導電性を示す基板の製造方法と同様に、FZ法による。すなわち、 β -Ga₂O₃種結晶と不純物としてのSi濃度の低い高純度の β -Ga₂O₃多結晶素材とを別個に準備し、石英管中で β -Ga₂O₃種結晶と

p型ドーパントであるMg、BeまたはZnを含む $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材とを接触させてその部位を加熱し、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶と $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材との接触部分で両者を溶融する。溶解した $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 多結晶素材を $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶とともに結晶化させると、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 種結晶上にMgを含む $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶が生成される。次に、この $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶に切断等の加工を施すことにより、絶縁性を示す基板が得られる。ここで、Mgの添加量が、0.01mol%および0.05mol%のとき、得られた基板の抵抗値は、1000M Ω 以上であり、絶縁性を示した。BeおよびZnを添加したときも $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 単結晶は、絶縁性を示した。

【0051】

この第2の実施の形態によれば、以下の効果が得られる。

(イ) p型ドーパントを添加することにより絶縁性を有する薄膜や基板を製作することができるため、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶でMIS構造の発光素子を製作することができ

る。
(ロ) この発光素子1は、発光素子1の基板抵抗が小さくなり、順方向電圧 V_f が小さくなる。

(ハ) 活性層52を形成する $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶が有する広いバンドギャップにより短波長、例えば、260nmの発光が可能となる。

(ニ) 絶縁型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板55およびn型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層51は、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を主体に構成されているので、バッファ層を不要にすることが可能となり、結晶性の高いn型層を形成することができる。

(ホ) 絶縁型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板55が、発光領域で透過性が高いので、光の取り出し効率を高くすることができる。

(ヘ) 発光光は、透明電極4を透過して上方に出射する出射光70として外部に射出する他、絶縁型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板55の下面の方に向う発光光71は、例えば、接着剤81により反射させられて上方に出射する。従って、発光光71が直接外部に出射するのと比べて、発光強度が増大する。

(ト) 絶縁型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板55や各層51、52、54、56に酸化物系 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶を用いているため、高温の大気中でも安定に動作する発光素子を形成することができる。

(チ) プリント基板やリードフレームとの接続方法が、フリップチップ・ボンディングが可能となるので、発光領域からの発熱を効率よくプリント基板や、リードフレームに逃がすことができる。

【0052】

第1および第2の実施の形態において、 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ を使用する場合について説明したが、他のタイプの Ga_2O_3 であってもよい。

【0053】

また、第1および第2の実施の形態において、発光素子について説明したが、入射光を電気信号に変換するフォトセンサにも適用することができる。

【0054】

また、活性層52は、 $\beta\text{-GaInO}_3$ により形成してもよい。この時クラッド層として $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ で形成しても良い。また活性層52として、発光効率を高めることができる量子井戸構造のものであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【0055】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る発光素子の断面図である。

【図2】n型ドーパントとしてSiを使用したときのドーパント濃度とキャリア濃度および抵抗率との関係を示す図である。

【図3】本発明の第2の実施の形態に係る発光素子の断面図である。

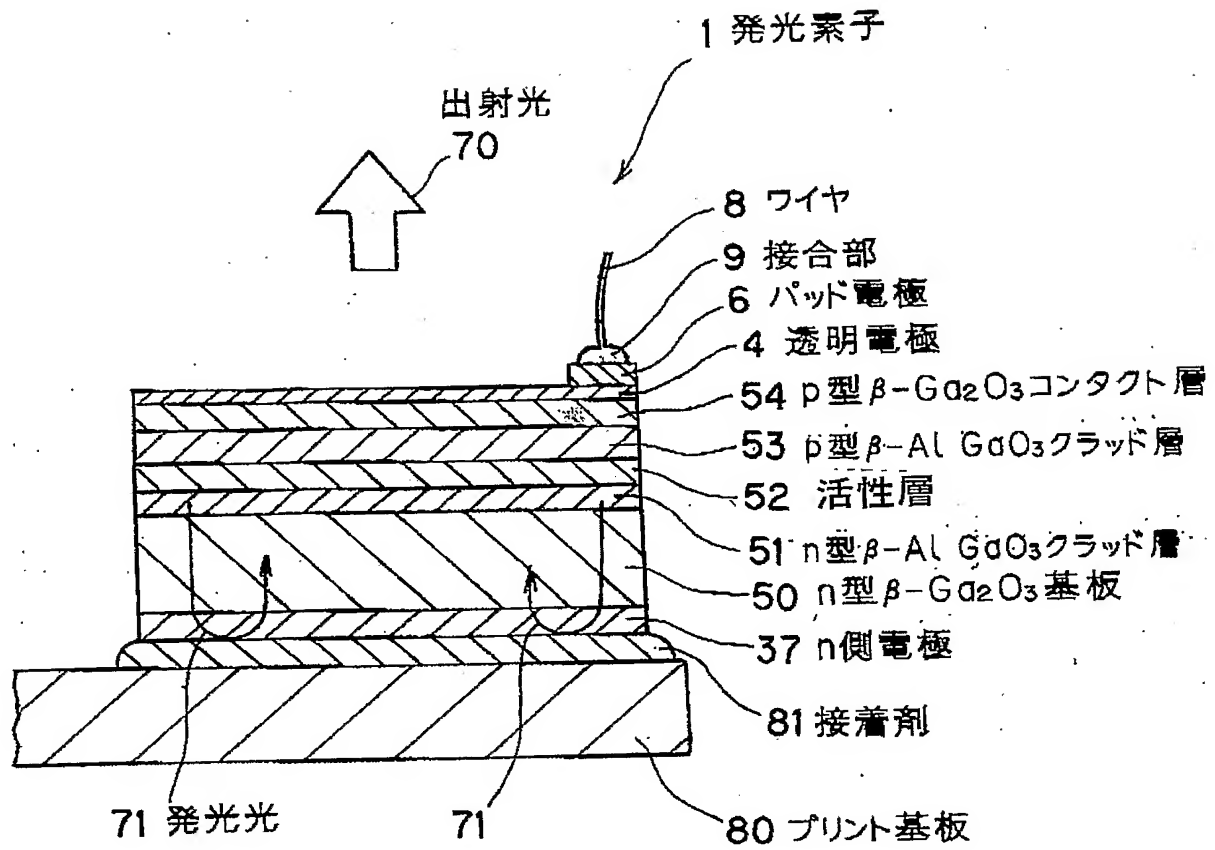
【符号の説明】

【0056】

- 1 発光素子
- 2 n型 β -Ga₂O₃ 基板
- 4 透明電極
- 5 電極
- 6 パッド電極
- 8 ワイヤ
- 9 接合層
- 37 n側電極
- 50 n型 β -Ga₂O₃ 基板
- 51 n型 AlGaO₃ クラッド層
- 52 β -Ga₂O₃ 活性層
- 53 p型 β -Ga₂O₃ クラッド層
- 54 p型 β -Ga₂O₃ コンタクト層
- 55 絶縁型 β -Ga₂O₃ 基板
- 56 n型 β -Ga₂O₃ コンタクト層
- 58 ワイヤ
- 59 接合部
- 70 出射光
- 71 発光光
- 80 プリント基板
- 81 接着剤

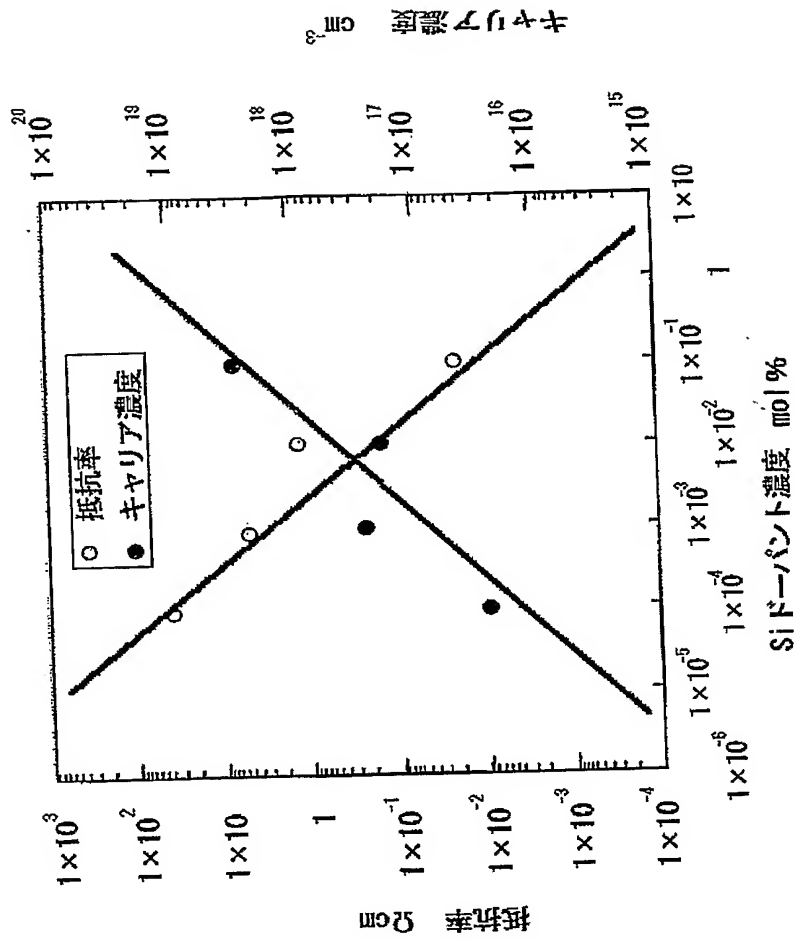
【書類名】 図面
【図 1】

図 1



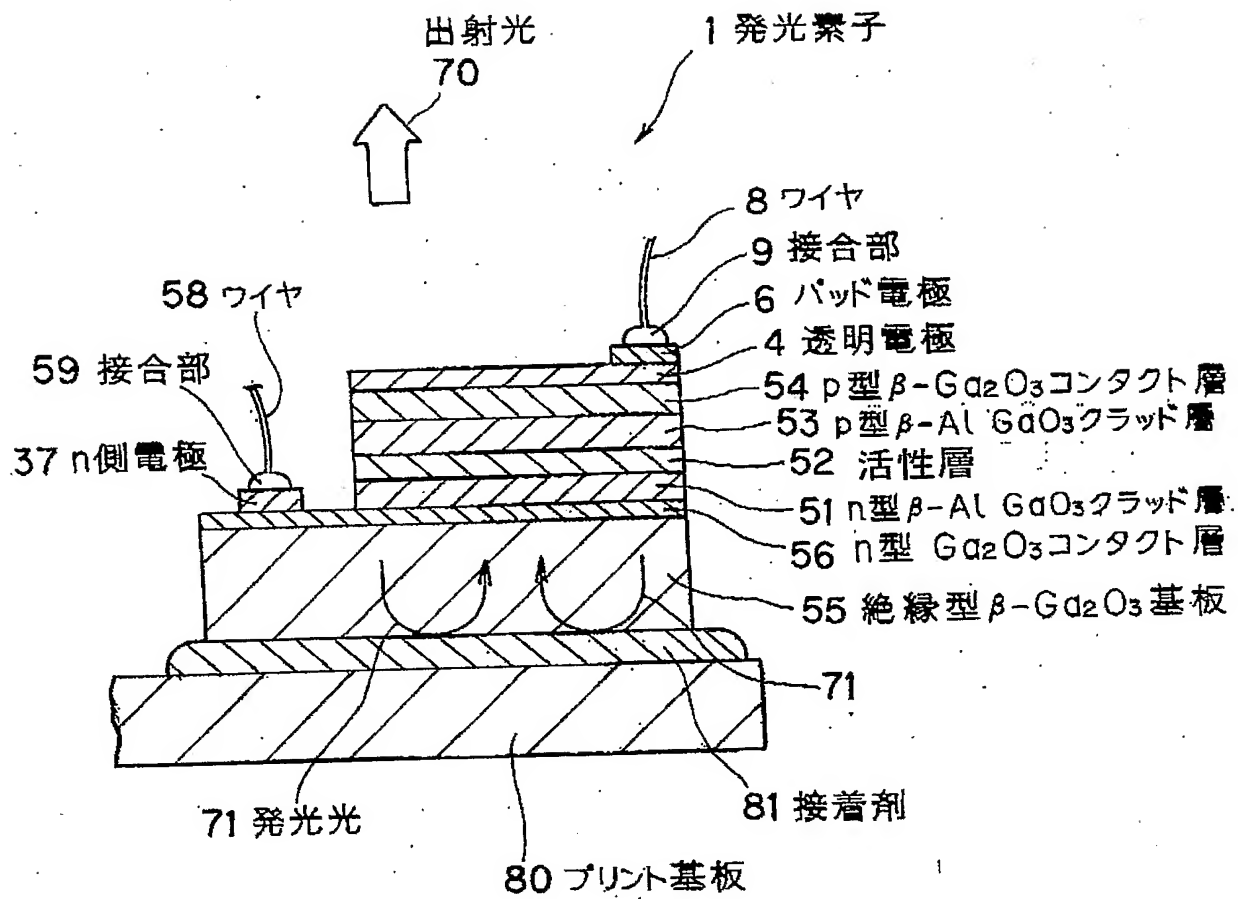
【図 2】

図 2



【図 3】

図 3



【書類名】 要約書

【課題】 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 系単結晶の導電性制御を効率よく行うことができる Ga_2O_3 系単結晶の導電率制御方法を提供する。

【解決手段】 この発光素子は、 n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板と、この n 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ 基板の上に、 n 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層、活性層、 p 型 $\beta\text{-AlGaO}_3$ クラッド層および p 型 $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ コンタクト層とを備える。 Si 濃度を $1 \times 10^{-5} \sim 1 \text{ mol } 1\%$ に変化させることにより、抵抗率が $2.0 \times 10^{-3} \sim 8 \times 10^2 \Omega \text{ cm}$ 、キャリア濃度が $5.5 \times 10^{15} \sim 2.0 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に制御するものである。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 4 - 0 4 2 1 7 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[8 9 9 0 0 0 0 6 8]

1. 変更年月日
[変更理由]
住 所
氏 名

1 9 9 9 年 9 月 1 7 日
新規登録
東京都新宿区戸塚町 1 丁目 1 0 4 番地
学校法人早稲田大学